

Desarrollo de un Sistema de Diagnóstico de Fallas para Equipos de Procesos basado en Estados Anormales Caracterizados

MARTÍNEZ Sergio Luis, FRANCO DOMINGUEZ Samuel, TARIFA Enrique Eduardo,
SANCHEZ RIVERO Víctor David, AZAR Miguel Augusto

Grupo de Investigación IngProAr / Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy
Av. Italia y Av. Martearena / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy / tel. 0388-4221591
smartinez@fi.unju.edu.ar, sfdominguez@arnet.com.ar, eetarifa@fi.unju.edu.ar
ivansr100@arnet.com.ar, augux1221@gmail.com

Resumen

Un incremento considerable en la complejidad de los sistemas industriales modernos requiere de un desarrollo continuo de métodos para detección de fallas. El monitoreo de la condición operativa en máquinas adquiere gran importancia en la industria por la necesidad de incrementar la confiabilidad y disminuir pérdidas de producción por fallas en los equipos.

La adquisición de conocimiento en sistemas expertos es exhaustiva y demasiado costosa en tiempo; la simulación mediante modelos usualmente es demasiado lenta como para operar en tiempo real. Esto explicaría razonablemente el motivo por el que las técnicas de computación en software, tales como los algoritmos evolutivos y las redes neuronales son tan populares en aplicaciones industriales para la identificación y aislamiento de fallas.

Los métodos más apropiados para el desarrollo de sistemas de diagnóstico de fallas tienden a aplicar heurísticas que reflejan el razonamiento humano e involucren técnicas de resolución de problemas complejos inspiradas en procesos de la naturaleza. En ese sentido, la propuesta de este proyecto es justamente adoptar esos criterios para desarrollar un sistema de diagnóstico eficiente capaz de operar en tiempo real, utilizando información capturada directamente de los dispositivos a monitorear, para afrontar adaptivamente las condiciones cambiantes que ocurren en los procesos bajo supervisión.

Palabras clave: Diagnóstico de fallas, procesos, monitoreo, inteligencia artificial.

Contexto

El presente proyecto se inicia a mediados del año 2010, como un complemento de un proyecto anterior donde se desarrollaron sistemas de diagnóstico basados en redes neuronales con datos simulados.

Desde el punto de vista del proceso de investigación, este proyecto se desarrolla en forma conjunta al proyecto de “Desarrollo de Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones en Procesos Industriales”, en el marco del Programa de Investigación “Desarrollo de Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones” dirigido por el Dr. Enrique Tarifa.

Las actividades de investigación son llevadas a cabo por el grupo IngProAr en el Instituto de Tecnología Minera e Industrial (InTeMI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy y cuenta con financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales de la UNJu.

Introducción

Pueden identificarse dos enfoques principales para el desarrollo de sistemas de diagnóstico de fallas: la aplicación de la redundancia de hardware o la aplicación de la redundancia analítica. La redundancia de hardware utiliza la multiplicidad de dispositivos físicos y, por lo general, un sistema de votación para detectar la aparición de una anomalía y su ubicación en el sistema. El principal problema de este enfoque es el costo significativo del equipamiento adicional necesario.

La redundancia analítica utiliza relaciones funcionales redundantes entre las variables del sistema. La principal ventaja de este enfoque frente a la redundancia de hardware

es que no requiere equipos adicionales. Las metodologías de detección de fallas basadas en redundancia analítica tienen en común el uso de un conjunto de relaciones de redundancia analítica, que representa el modelo del sistema que describe el rendimiento deseado del sistema de seguimiento. El sistema que es monitoreado por posibles digresiones a partir de este modelo, produce información que indica los casos de fallas y permite aislar los componentes defectuosos (Palade et al, 2006).

Desafortunadamente, los métodos analíticos clásicos utilizados en los sistemas de diagnóstico de fallas usualmente no proporcionan soluciones aceptables para estas tareas. Uno de los métodos más aplicados al problema de diagnóstico de fallas en mecanismos y sistemas en general es la construcción de heurísticas. Este método genera sistemas basados en reglas que requieren de la experiencia y conocimientos de un experto humano o la simulación del proceso a través de modelos complejos. Los sistemas generados de esta forma realizan el diagnóstico mediante el mapeo de los síntomas de fallas a hipótesis previamente definidas para establecer conclusiones coherentes de la operatividad de los procesos o mecanismos en consideración.

Líneas de Investigación y Desarrollo

Para abordar la temática del proyecto, tendiente al cumplimiento de los objetivos propuestos, fue necesario incursionar en diversos campos del conocimiento. A partir de ellos se pueden desglosar algunas líneas de investigación que deben ser exploradas con mayor o menor profundidad, según se requiera. Por ejemplo:

- **Análisis de series temporales:** Análisis y predicción de series temporales. Extracción de características. Estimación de parámetros y variables no medidas. Estimación de tendencias. Caracterización de estados normales de operación. Detección y caracterización de situaciones anómalas. Definición de índices de rendimiento. Datamining.
- **Técnicas de adquisición de datos:** Estudio de procesos y sistemas típicos. Identificación de equipos y máquinas principales. Análisis de sensores y producción de datos. Utilización de placas DSP (*Digital Signal Processor*). Toma de muestras bajo condiciones normales y bajo condiciones de fallas. Análisis de registros históricos disponibles.
- **Procesamiento de datos:** Detección de sensores fallados. Eliminación de ruidos. Conciliación de lecturas. Procesamiento estadístico.
- **Análisis y procesamiento de señales:** Herramientas de análisis: Investigación y desarrollo de métodos y procedimientos eficientes para análisis y caracterización de secuencias de datos. Aplicación de herramientas específicas para procesamiento de señales: transformada de Fourier, transformada wavelet, análisis multi-resolución. Métodos ICA (Independent Components Analysis) y PCA (Principal Components Analysis).
- **Sistemas de diagnóstico inteligentes:** Análisis de sistemas candidatos basados en IA. Sistemas típicos: Redes Neuronales (ANN), Sistemas de Control Fuzzy (FCS), sistemas híbridos neuro-fuzzy y neuro-wavelet. Determinación de propiedades, alcances y limitaciones. Implementación sobre entorno de procesamiento y simulación matemático.
- **Diagnóstico de fallas:** Reconocimiento de patrones. Monitoreo e identificación de fallas. Verificación de respuestas sin ruido y con ruido. Análisis de tolerancias para variables de proceso.

Objetivos y Resultados

Este proyecto se ha planificado en cuatro años de duración (2010-2013) para el desarrollo de los siguientes objetivos:

Objetivo General

Desarrollar un sistema de diagnóstico de fallas para equipos de procesos, basado en estados anormales caracterizados. La implementación del sistema se realizará con la

aplicación de técnicas, procedimientos y sistemas de inteligencia artificial.

Objetivos Particulares

- Estudiar y caracterizar secuencias temporales de señales correspondientes a parámetros característicos de equipos utilizados en procesos industriales.
- Capturar, en tiempo real, secuencias temporales de parámetros de funcionamiento de equipos clásicos utilizados en procesos industriales, representativas de estados normales y anormales.
- Investigar e implementar métodos convenientes que permitan determinar el conjunto de variables que deben ser monitoreadas para detectar y caracterizar adecuadamente estados anormales.
- Definir índices de rendimiento para la caracterización de estados anormales.
- Implementar técnicas de análisis necesarias para caracterizar estados anormales a partir del análisis del conjunto de variables medidas.

De las diferentes actividades desarrolladas durante el año 2010, se destacan:

Actividades de investigación

- Adquisición de material bibliográfico y obtención de documentos científicos relacionados.
- Acondicionamiento de un equipo de cómputo ad-hoc. Instalación, configuración y programación de un módulo DSP de 8 bits, analógico-digital.

Publicaciones

- Martínez S. L., Tarifa E. E., Franco Domínguez S. *Processing Ambiguous Fault Signals with Three Models of Feedforward Neural Networks*. Anales Workshop CACIC 2010, ISBN 978-950-9474-49-9, 1º ed., Universidad de Morón. Bs. As., 2010.
- Martínez S. L., Tarifa E. E., Núñez A. F. “Controladores Fuzzy vs. Controladores Convencionales – Un Caso de Estudio”. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, ISSN 3367-5072, EdiUNJu. Jujuy, 2010.

- Vanesa G. Velásquez V. G., Martínez S. L., Sánchez Rivero V. D. “Clasificador Neuronal Implementado con Redes SOM”. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, ISSN 3367-5072, EdiUNJu. Jujuy, 2010.
- Tarifa E. E., Franco S., Martínez S. L. “Simulación Dinámica en una Dimensión Utilizando Volúmenes Finitos Móviles”. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, ISSN 3367-5072, EdiUNJu. Jujuy, 2010.
- Tarifa E.E., Núñez Á.F., Franco S., Mus-sati S., “Fault Diagnosis for a MSF desalination plant by using Bayesian Network”, Desalination and Water Treatment, ISSN 1944-3994, 2010.

Presentaciones en Congresos

- VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA. Tema: “Controladores Fuzzy vs. Controladores Convencionales – Un Caso de Estudio”. Disertante: S. Martínez. Jujuy, noviembre/2010.
- VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA. Tema: “Simulación Dinámica en Una Dimensión utilizando Volúmenes Finitos Móviles”. Disertante: S. Franco Domínguez. Jujuy, noviembre/2010.
- XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Workshop Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real. Tema: “Procesamiento de Señales de Fallas Ambiguas con Tres Modelos de Redes Neuronales”. Disertante: S. Martínez. Bs. As., octubre/2010.
- VIII Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología. Tema: “El Papel del Paper en Ingeniería”. Facultad de Ingeniería – UNJu. Disertante: S. Martínez. Jujuy, junio/2010.

Formación de recursos humanos

En el contexto de la formación de recursos humanos se desarrollan diferentes actividades a cargo de los integrantes del proyecto.

Formación de docentes investigadores

- **Formador: Enrique E. Tarifa.** Investigador: S. Franco, Profesor Adjunto DE., Categoría IV, desde 1996. Investigador: S. Martínez, Profesor Adjunto DE., Categoría IV, desde 1999. Investigador: S. Chalabe, Profesora Adjunta, Categoría III, desde 2006. Investigador: Á. Núñez, Ayudante de primera DS., desde 1996.
- **Formador: Sergio L. Martínez.** Investigador: N. Pérez Otero, Profesora Adjunta, Categoría V, desde 2007. Investigador: V. Sánchez Rivero, Profesor Adjunto DE., desde 2009. Investigador: L. Ituarte, Profesor Adjunto, 2005/07. Investigador: F. Castillo, Profesor Adjunto DSE., 2005/07.
- **Formador: Samuel F. Domínguez.** Investigador: D. Humana, JTP Exclusivo, Categoría V, desde 2007.

Formación de becarios de investigación

- Becario de Investigación: Ángel E. Casasola. Proyecto: “Identificación de Secuencias Temporales con RNA basada en la Teoría de Resonancia Adaptiva”. Facultad de Ingeniería – UNJu. Director: S. Martínez. Res. CAFI N° 171/08. Finalizada 12/09.
- Becario de Investigación: Luis M. Valdivieso. Proyecto: “Implementación de Redes Neuronales Fuzzy para Reconocimiento de Trayectorias”. Facultad de Ingeniería - UNJu. Director: S. Martínez. Res. CAFI N° 171/08. Finalizada 12/09.
- Becario de Investigación: Vanesa G. Velásquez. Proyecto: “Clasificador Neuronal implementado con Redes SOM”. Facultad de Ingeniería – UNJu. Director: S. Martínez. Res. CAFI N° 171/08. Finalizada 12/09.

Dirección de tesis de grado y posgrado

- Tesis doctoral. Título: “Simulación, optimización y control de procesos de la industria alimentaria de la región”. Doctorando: Á. Núñez, UNJu, beca doctoral del proyecto BD-PRH UNJu 2008 (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y UNJu). Director: E. Tarifa. Res. R N° 184/09, desde marzo/09.

- Tesis de Grado. Título: “Predicción de Datos en Series de Tiempo con Redes Neuronales Artificiales – Aplicaciones sobre Datos Hidrometeorológicos del Sistema Las Maderas, Jujuy, Argentina”. Tesista: Jorge J. Gutiérrez. Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería - UNJu. Director: S. Martínez. Res. FI N° 338/10, desde octubre/10.
- Tesis de Grado. Título: “Prototipo de Sistema de Control Fuzzy Aplicado al Proceso de Curado de Tabaco”. Tesista: Miguel A. Azar. Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería - UNJu. Director: S. Martínez. Res. FI N° 167/10, desde junio/10.
- Tesis de Grado. Título: “Prototipo de Sistema Inteligente para la Selección de Circuitos Turísticos”. Tesistas: Leticia Cari y María C. Cosme. Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería - UNJu. Director: S. Martínez. Res. FI N° 168/10, desde junio/10.
- Tesis de Grado. Título: “Modelo de calidad para la seguridad en una base de datos”. Tesista: Raúl A. Fernando Cabana. Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería – UNJu. Director: V. Sánchez Rivero. Res. FI N° 121/08, abril/10.
- Tesis de Grado. Título: “Sistema Experto de Ruteo Urbano para teléfonos Celulares”. Tesistas: Mario A. Tejerina, Marcos A. Ugarte y César A. Castillo. Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería - UNJu. Director: S. Martínez. Res. FI N° 123/09, mayo/09.

Dictado de cursos y seminarios

- Seminario “Desarrollo de Sistemas Inteligentes sobre Matlab”. Dirigido a Estudiantes avanzados de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería – UNJu. Duración: 30 hs., de may/10 a jul/10. Dictado por S. Martínez.

Referencias

Angeli C., Chatzinikolaou, A. *On-Line Fault Detection Techniques for Technical Systems: A Survey*. International Journal of

- Computer Science & Applications, Vol. I, No. 1, pp. 12 - 30. 2004.
- Chen Z., He Y., Chu F., Huang J. *Evolutionary strategy for classification problems and its application in fault diagnosis*. Eng. Appl. Artif. Intell., Vol. 16, No. 1, pp. 31–38. 2003.
- Clark R.N., Fosth D.C., Walton W.M. *Detecting instrument malfunctions in control systems*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems AES-11: 465-473. 1975.
- Frank P.M. *Fault diagnosis in dynamic system via state estimation – a survey*. D. Reidel Press, Dordrecht, Germany, 1987.
- Ingle V.K., Proakis J.G. *Digital Signal Processing using Matlab V.4*. Ed. PWS Publishing Company, ISBN 0-534-93805-1. USA, 1997.
- Isermann R. *Fault diagnosis of machine via parameter estimation and knowledge processing – tutorial paper*. IFAC/IMACS Symposium SAFEPROCESS'91, vol. 1, pp. 121-133. Baden-Baden, Germany, 1991.
- Korbicz J., Koscielny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. *Fault Diagnosis. Models, Artificial Intelligence, Applications*. Berlin: Springer, 2004.
- Manders E.J., Barford L.A., Biswas G. *An Approach for Fault Detection and Isolation in Dynamic Systems From Distributed Measurements*. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement. Vol. 51, No. 2. USA, 2002.
- Martínez S.L., Tarifa E.E., Franco S., *Recognizing Complex Patterns of Faults with Artificial Neural Networks. Optimized Application of the Backpropagation Method*. International Conference on Neural Computation ICNC 2009, Madeira, Portugal, 2009.
- Palade V., Bocaniala C.D., Jain L. (editores), *Computational Intelligence in Fault Diagnosis*. Ed. Springer-Verlag, ISBN-10: 1-84628-343-4. USA, 2006.
- Pérez-Alcazar P.R., Santos A. *Relationship between sampling rate and quantization noise*. IEEE 14th International Conference on Digital Signal Processing - DSP 2002, V2, pp 807-810. 2002.
- Proakis J.G., Manolakis D.K. *Digital Signal Processing*. Ed. Prentice Hall 4° ed., ISBN 0-1318-7374-1. USA, 2006.
- Ríos L.C., Toro N. *Estimación de Parámetros en Modelos Arma por el Criterio de Mínimos Cuadrados*. Scientia et Technica Año XII, No 31, 2006.
- Samanta, B. Al-Balushi, K. R. Al-Araimi, S. A. *Bearing Fault Detection Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm*. EURASIP Journal on Applied Signal Processing. Vol 3 pp. 366–377. Hindawi Publishing Corporation, 2004.
- Stanley W.D., Dougherty G.R., Dougherty R. *Digital Signal Processing*, Ed. Reston Publishing Co., ISBN 0-8359-1321-X. USA, 1984.
- Tarifa E., Humana D., Franco S., Martínez S. *Fault diagnosis for MFS dynamic status using neural networks*. Elsevier/Desalination 166, pp. 103 – 111. Euromed 2004 Conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, 2004.
- Van Veelen, M. Nijhuis, A. G., Spaanenburg, L. *Process Fault Detection through Quantitative Analysis of Learning in Neural Networks*. Department of Computing Science. University of Groningen. Groningen, the Netherlands, 2000.
- Willsky A.S., Jones H.L. *A generalized likelihood approach to state estimation in linear systems subjected to abrupt changes*. Proceedings of the IEEE Conference on Control and Decision. Arizona, USA, 1974.
- Witczak M. *Advances in Model-Based Fault Diagnosis with Evolutionary Algorithms and Neural Networks*. Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 16, No. 1, 85–99, 2006.
- Yang, Z.R. Zwolinski, M. Chalk, C. D., Williams, A. C. *Applying A RHPNN to Analog Fault Detection and Classification*. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, V. 19(1). 1. 2000.